

2018:01070 - Unrestricted

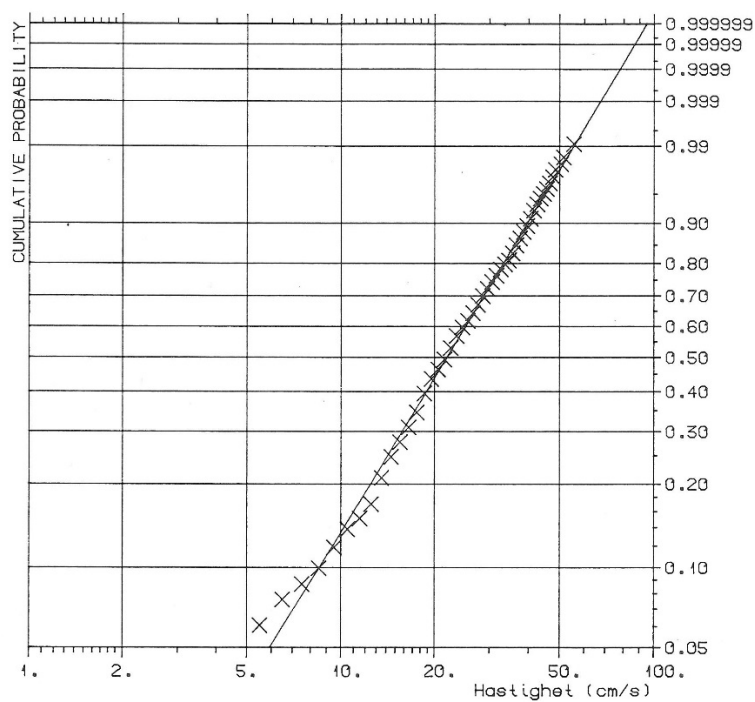
# Rapport

## Revisjon av NS 9415 - Fastsettelse av ekstremstrøm fra korte tidsserier

### Forfatter(e)

Grim Eidnes

Christos Stefanakos



SINTEF Ocean AS

Postadresse:  
Postboks 4762 Torgarden  
7465 Trondheim  
Sentralbord: 46415000Foretaksregister:  
NO 937 357 370 MVA

# Rapport

## Revisjon av NS 9415 - Fastsettelse av ekstremstrøm fra korte tidsserier

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
2018:01070	302004135	1.0	2018-10-24

**EMNEORD:**  
Oseanografi  
Strøm  
Ekstremverdi  
NS 9415**FORFATTER(E)**  
Grim Eidnes  
Christos Stefanakos**OPPDRAGSGIVER(E)**  
Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond

OPPDRAGSGIVERS REF.	ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
Kjell Maroni	11 + vedlegg

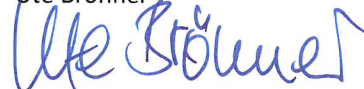
GRADERING	GRADERING DENNE SIDE	ISBN
Åpen	Åpen	978-82-14-06590-9

**SAMMENDRAG**

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF) har igangsatt et prosjekt med formål å identifisere lange måleserier for strøm, analysere disse og foreslå nye omregningsfaktorer eller andre metoder for bestemmelse av dimensjonerende strøm. Prosjektet er organisert som et samarbeid mellom Multiconsult, Aquastructures, Åkerblå og SINTEF Ocean. Den foreliggende rapporten representerer SINTEF Oceans rapportering av eget arbeid.

Rapporten presenterer resultatene og diskuterer effekten av

- månedsmaksima og omregningsfaktorer for 10 og 50 års ekstremverdier
- forskjellige midlingsteknikker (burst mode, spread mode)
- nødvendig lengde på måleserien for pålitelig ekstremverdianalyse

**UTARBEIDET AV**  
Grim Eidnes**KONTROLLERT AV**  
Heidi Moe Føre**GODKJENT AV**  
Ute Brønner

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2018-10-24	Utkast til referansegruppa

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Bakgrunn.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Datagrunnlag.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Resultater .....</b>	<b>4</b>
3.1	Ekstremverdier basert på månedsmaksimum .....	4
3.2	Ekstremverdier basert på kort midlingsperiode ('burst mode') .....	6
3.3	Ekstremverdianalyse og måleseriens lengde.....	7
<b>4</b>	<b>Standardisering og retningslinjer .....</b>	<b>10</b>
4.1	'Burst mode' vs. 'spread mode' og andre måleinnstillinger.....	10
4.2	Ekstremverdianalyse .....	11
<b>5</b>	<b>Konklusjoner og anbefalinger .....</b>	<b>11</b>

## 1 Bakgrunn

På initiativ fra Standardiseringskomiteen SN/K 509 Flytende oppdrettsanlegg har Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF) bevilget midler til et utviklingsprosjekt med formål å identifisere lange måleserier for strøm, analysere disse og foreslå nye omregningsfaktorer eller andre metoder for bestemmelse av dimensjonerende strøm. Prosjektet er organisert som et samarbeid mellom Multiconsult, Aquastructures, Åkerblå og SINTEF Ocean med sistnevnte som prosjektleder. Den foreliggende rapporten representerer SINTEF Oceans rapportering av eget arbeid.

I henhold til dagens standard (NS 9415:2009) skal ekstremverdier med 10 og 50 års returperiode fastsettes ved at månedsmaksima multipliseres med en faktor på henholdsvis 1,65 og 1,85 eller ved ekstremverdi-analyse av tidsserier på minst ett år. Omregningsfaktorene ble fastsatt rundt 2005 og var basert på en sammenstilling av ekstremverdi-analyser av lange tidsserier av strøm fra i hovedsak olje- og gassindustrien (rørlegging, terminalutbygging) og vegutbygging (fjordkryssing). Det er imidlertid stor usikkerhet forbundet med omregningsfaktorene, og prosjektet har som målsetting gjennom nye analyser å foreslå forbedrede faktorer eller metoder for fastsettelse av ekstremstrøm. Den foreliggende SINTEF-rapporten ser på effekten av:

- månedsmaksima og omregningsfaktorer for ekstremverdier
- forskjellige midlingsteknikker (burst mode, spread mode)
- nødvendig lengde på måleserien for pålitelig ekstremverdi-analyse

## 2 Datagrunnlag

SINTEF har benyttet strømmålinger fra Ferjefri E39-prosjekt. Dette er åpne data stilt til rådighet av Statens vegvesen, region Midt. For analyse av omregningsfaktorer til ekstremverdier er det benyttet to dyp ved tre stasjoner over en periode på 19 måneder. Stasjonene er vist i tabell 1. Dataene fra St. A og St. G, Sulafjorden og Halsafjorden, inngår også i beregningene til Multiconsult.

Tabell 1. Målestasjoner fra Ferjefri E39 brukt som beregningsgrunnlag for denne rapporten.

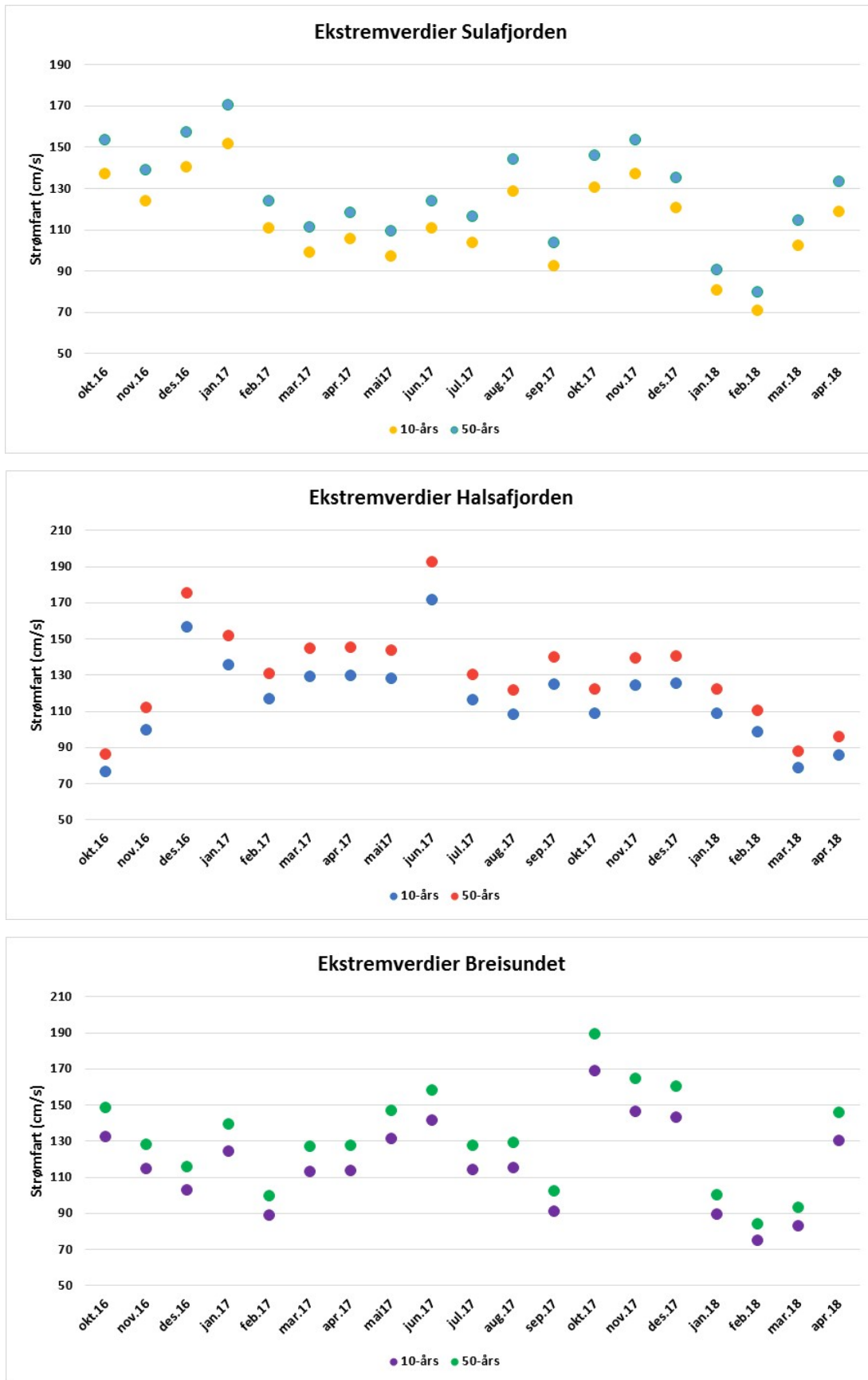
St.	Lokalitet	Måleperiode	Vanndyp	Måledyp	Instrument
A	Sulafjorden	13.10.2016 – 30.04.2018 (565 dager)	370 m	1 m	Nortek aquadopp single-point
				20 m	Teledyne 300 kHz Sentinel ADCP
D	Breisundet	14.10.2016 – 30.04.2018 (564 dager)	300 m	1 m	Nortek aquadopp single-point
				20 m	Teledyne 300 kHz Sentinel ADCP
G	Halsafjorden	18.10.2016 – 30.04.2018 (560 dager)	430 m	1 m	Nortek aquadopp single-point
				20 m	Teledyne 300 kHz Sentinel ADCP

\* 1 m inkluderes i 5 m statistikk og 20 m i 15 m statistikk

## 3 Resultater

### 3.1 Ekstremverdier basert på månedsmaksimum

Figur 1 viser dagens omregningsfaktorer (1,65 og 1,85) anvendt på månedlige 10 min maksima i 1 m dyp ved de tre lokalitetene. I Sulafjorden varierer 50-års verdien mellom 80 cm/s og 170 cm/s, mens 10 års-verdien ligger mellom 71 og 152 cm/s. Minimumet finner sted i februar 2018, mens maksverdien er for januar 2017.



Figur 1. Beregnet ekstremverdier i Sulafjorden, Halsafjorden og Breisundet basert på målte månedsmaksima og dagens omregningsfaktorer på 1,65 og 1,85.

I Halsafjorden varierer 50-års verdien (basert på månedsmaksima) mellom 86 og 193 cm/s. I Breisundet er variasjonen fra 84 til 189 cm/s. Dette er store forskjeller; den høyeste verdien er mellom 114 og 125 % høyere enn den minste ved de tre lokalitetene, altså en faktor av 2,14 – 2,25.

Det er også viktig å merke seg at f.eks. i Sulafjorden er både maksimum og minimum registrert på vinteren, i hhv. januar og februar. Det er vanskelig å se den umiddelbare, sesongmessige sammenhengen mellom disse to resultatene. Det kan være rimelig at vintermåneden januar har høy maksimalverdi, men at den laveste skulle bli registrert i måneden etter kan være vanskeligere å forklare.

Tilsvarende med Halsafjorden. Høyeste strømhastighet her ble registrert tidlig i juni og kan trolig knyttes til vårflo, den laveste verdien ble registrert i oktober. I Breisundet var det derimot maksimum i oktober.

Konklusjonen på disse til dels motstridende og sesongmessig vanskelig forklarlige resultatene kan ikke være noe annet enn at den valgte metoden med månedsbaserte maksima neppe kan sies å være statistisk holdbar. Når maksimumsverdien varierer med en faktor av 2,25 både i Halsafjorden og Breisundet avhengig av hvilken måned målingene blir gjennomført, viser det at målinger over en måned ikke er tilstrekkelig til å kunne tillegges statistisk signifikans for analyse av ekstremverdier. Måleperioden blir ganske enkelt for kort.

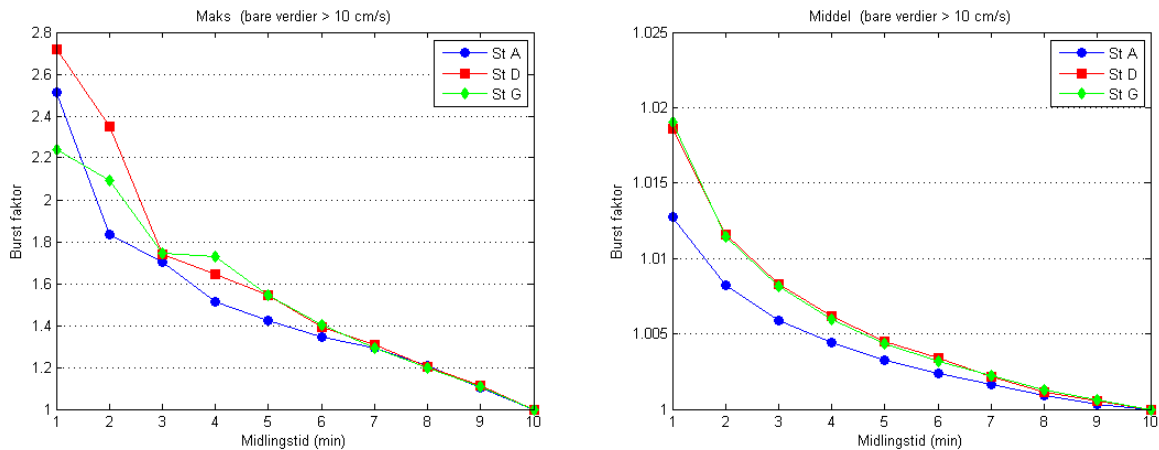
Datamaterialet tyder heller ikke på at det er mulig å angi en foretrukket måned for målinger, for eksempel en måned med forventet høye eller lave verdier. I Halsafjorden kom minimumet under 'høststormene' i oktober. I Breisundet kom maksimumet i oktober.

### 3.2 Ekstremverdier basert på kort midlingsperiode ('burst mode')

For å spare batteriforbruket og dermed forlenge den totale måleperioden, er det ofte brukt såkalt 'burst mode' på de akustiske målerne. Instrumentet sender da ut akustiske signaler over en kortere periode - for eksempel 1-2 min og så er måleren inaktiv resten av måleperioden på typisk 10 min. Bruk av burst-målinger er ikke i overensstemmelse med dagens NS 9415 – hvor det står at strømmålingene skal gjennomføres som et vektorielt middel over 10 min – men metoden skal være godkjent av Norsk Akkreditering.

Strømmålingene fra Ferjefri E39 gir et utmerket grunnlag til å undersøke effekten av 'burst mode' siden målingene her er kontinuerlige i tid samtidig som dataene lagres som et vektorielt middel hvert minutt. Ser vi isolert på én 1 min måling hvert 10. minutt, får vi en 1 min 'burst mode' serie. Vi har på tilsvarende måte laget 'burst mode' serier på 2, 3 og videre opp til 9 min. Disse er så sammenliknet med et vektorielt middel på 10 min, som da representerer 'spread mode' verdien. Forholdet (kvotienten) mellom 'burst mode' og 'spread mode' er kalt burst-faktoren. Siden små strømhastigheter kan gi urimelig høye burst-faktorer, er strømhastigheter under 10 cm/s sett bort fra. Beregningene er kjørt for 1 m dyp ved de samme tre lokalitetene for hele måleperioden på 19 måneder. Resultatet er vist i figur 2.

Selv om den gjennomsnittlige burst-faktoren var beskjeden (oppe i 1,019 for 1 min burst), viser figuren at det er registrert enkeltstående burst-faktorer på 2,7 for 1 min burst, 2,35 for 2 min og 1,55 for 5 min burst. I slike tilfeller vil forskjellen mellom et vektorielt middel over 10 min og burst-verdien være betydelig. Dette gjelder enkeltstående burst-verdier og ikke nødvendigvis månedsmaksima.



Figur 2. Burst-faktoren er forholdet mellom 'burst mode' og 'spread mode'. Maksverdi til venstre, middelværdi til høyre. Grunnlag: Strøm over 10 cm/s i 1 m dyp ved 3 lokaliteter i 19 mnd.

### 3.3 Ekstremverdianalyse og måleseriens lengde

Som et alternativ til å beregne 10- og 50-års ekstremverdier med omregningsfaktorer og høyeste månedsverdi, kan også ekstremverdiene bestemmes ved direkte analyse av de målte data. En standard ekstremverdianalyse baserer seg på å tilpasse en gitt fordeling (som f.eks. Weibull eller Gumbel) til de målte data (ved f.eks. minste kvadraters metode eller momentmetoden). Dataene som inngår i analysen, bør være uavhengige og ideelt representere én hendelse av en bestemt varighet. En ofte benyttet metode er å plukke ut den høyeste strømhastigheten som er målt over en gitt periode - ofte ett, to eller tre døgn – og la disse verdiene utgjøre datagrunnlaget. Da er også varigheten av hendelsen entydig bestemt og det er rimelig å anta at dataene er uavhengige.

Vi har benyttet ekstremverdianalyse på de kontinuerlige tidsseriene av strøm i 1 m dyp over 19 måneder fra Sulafjorden, Halsafjorden og Breisundet. Først har vi skilt ut bidraget fra tidevannet ved å kjøre en harmonisk analyse. Tidevannsstrømmen er forholdsvis svak ved de tre lokalitetene, midlere tidevannsstrøm er henholdsvis 3, 5 og 5 cm/s. Når tidevannsstrømmen er trukket fra, står vi igjen med det som kalles reststrømmen. Den er utgangspunkt for ekstremverdianalysen som i tillegg er basert på følgende metode og fordeling:

- 24-timers maksima utgjør datagrunnlaget
- dataenes fordeling tilpasses en 3-parameter Weibull-fordeling
- beste tilpasning bestemmes etter momentmetoden
- midlere tidevannsstrøm adderes ekstremverdiene

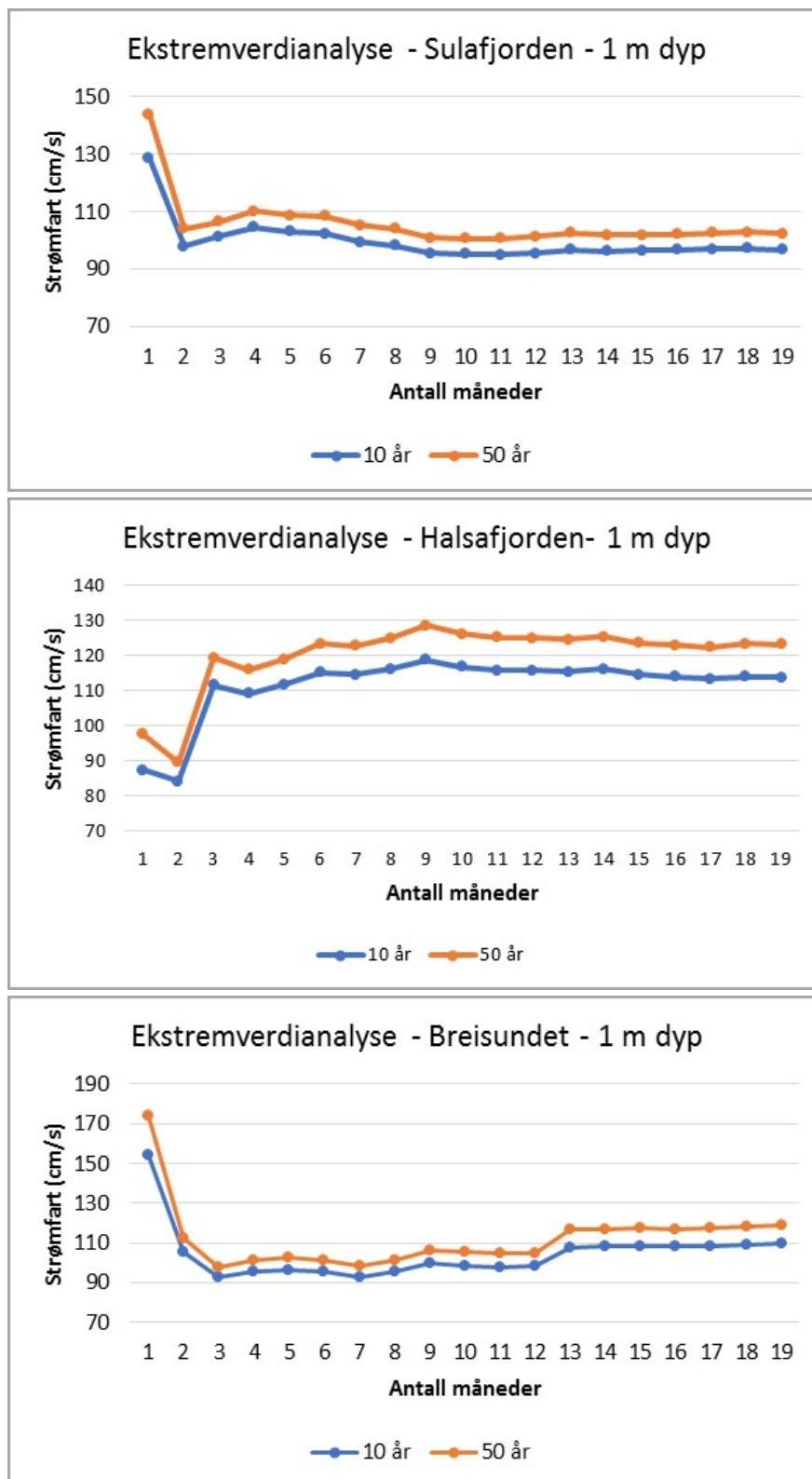
Dette er en statistisk kurant og holdbar metode for ekstremverdianalyse spesielt når tidevannsstrømmen er svak. Blir tidevannsbidraget mer dominerende, vil den kombinerte sannsynligheten for overskridelse av en bestemt  $z$ -verdi,  $z = a$ , være gitt ved en kombinasjon av Weibullfordelingen,  $H$ , for reststrømmen, og sannsynlighetsfordelingen,  $g$ , av tidevannsstrømmen:

$$\sum_{x_{\min}}^{x_{\max}} [1 - H(a - x)] g(x) \Delta x$$

Ekstremverdianalysene er kjørt suksessivt for 1 måned, 2 måneder, 3 måneder osv. opp til hele tidsseriens lengde på 19 mnd. (Merk at den første måneden var tidsserien bare på hhv. 19, 14 og 18 dager.) Det var rimelig å forvente at de beregnede ekstremverdiene ville ha et betydelig sprik avhengig av hvor stor del av

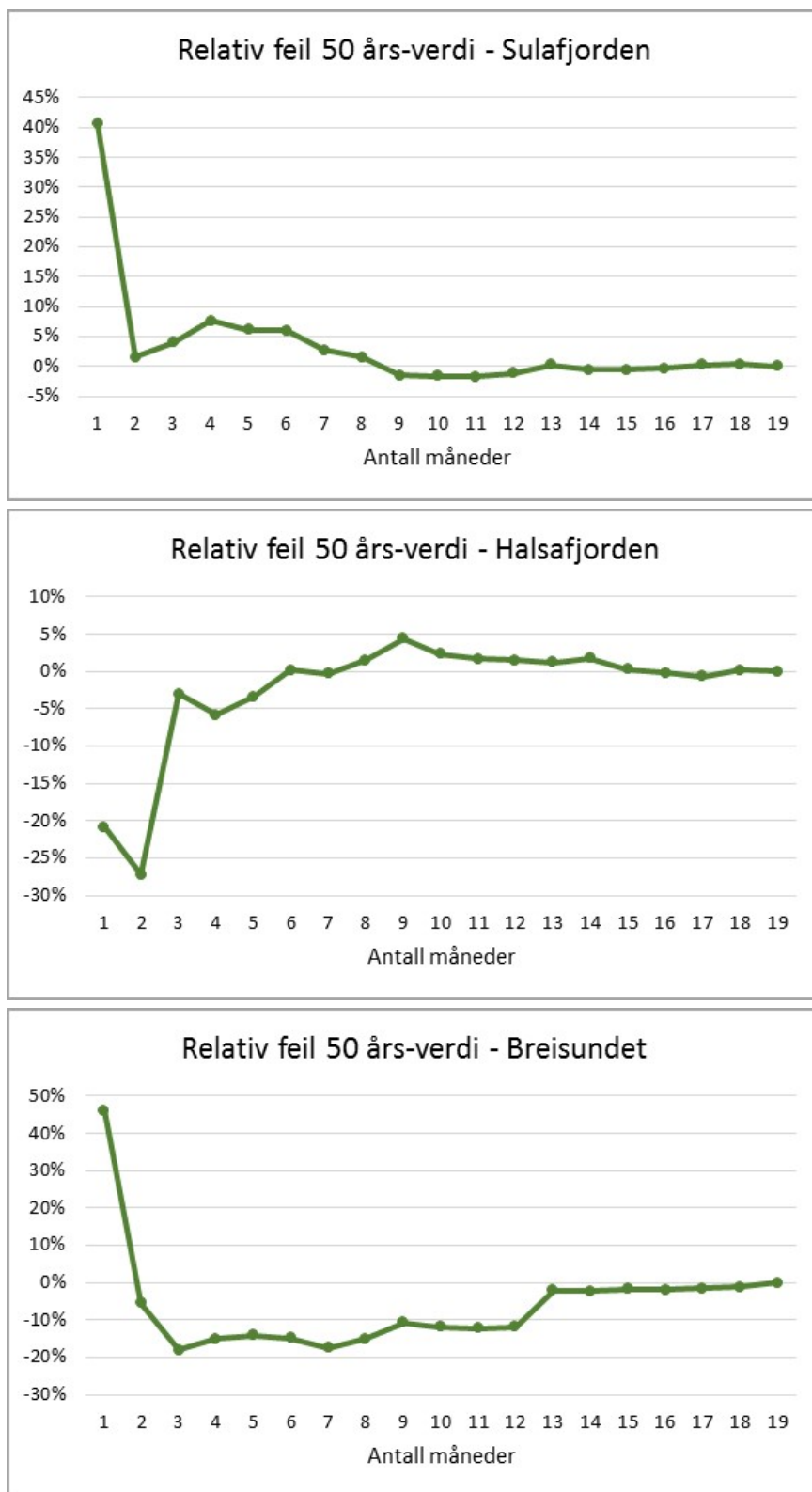


tidsseriens totale lengde som ble brukt, men at de etter hvert ville "konvergere" mot en endelig verdi. Målet var å se hvor mange måneder med data som var nødvendig, før man med en gitt sikkerhet kunne fastslå 10- og 50-års ekstremverdier. Resultatet er vist i figur 3.



Figur 3. Beregnet 10- og 50 års ekstremverdier i Sulafjorden, Halsafjorden og Breisundet når tidsseriens legde varierer fra 1 måned til 19 måneder.

Vi antar videre at den beregnede ekstremverdien etter 19 måneder (hele tidsserien) er "korrekt" ekstremverdi og har beregnet den relative feilen som oppstår når beregningene baseres på en kortere tidsserie. Resultatet er vist i figur 4 og oppsummert i tabell 5.



Figur 4. Relativ feil i beregnet 50-års ekstremverdier når tidsseriens lengde varierer fra 1 måned til 19 måneder. Antatt "fasit" er satt til verdien etter 19 måneder.

Tabell 5. Beregnet 50 års strømhastighet i 1 m samt grenseverdien for antall måneder som trengs for å ligge innenfor 5 og 10 % feilmargin.

	Høyeste registrerte strøm	50-års strømhastighet	10 % feilmargin etter	5 % feilmargin etter
<b>Sulafjorden</b>	92 cm/s	102 cm/s	2 mnd.	7 mnd.
<b>Halsafjorden</b>	104 cm/s	123 cm/s	3 mnd.	5 mnd.
<b>Breisundet</b>	102 cm/s	119 cm/s	13 mnd.	13 mnd.

Figurene viser at ekstremverdiene for Sulafjorden var innenfor en feilmargin på 10 % allerede etter 2 måneders måleperiode, og innenfor 5 % etter 7 måneder med data. For Halsafjorden var man innenfor 5 % feil etter 5 måneder. En høy registrering i Breisundet etter ett år med målinger, gjorde alle ekstremverdier for lave fram til måned 13 da feilmarginen kom under 5 %.

Breisundet er vesentlig mer eksponert for vær og vind der det ligger ut mot åpent hav i vest. Dette kan være en forklaring på hvorfor det trengs en lengre måleperiode her for å fange inn de mer ekstreme variasjonene. I mer skjermede farvann, som for eksempel Halsafjorden, vil de store svingningene og variasjonene dempes.

Sammenligner vi ekstremverdiene i figur 3 med ekstremverdiene basert på 1 måneds målinger og omregningsfaktorer i figur 1, er forskjellen betydelig. Mens ekstremverdier basert på månedsmaksima (figur 1) varierte med en faktor opp mot 2,25 (125 %), var ekstremverdiene basert på ekstremver dianalyse innenfor 20 % av "fasit" etter tre måneder og innenfor 10 % etter vel et år. Og ekstremverdiene synes vesentlig mer realistisk enn mange av de som ble beregnet med omregningsfaktor.

## 4 Standardisering og retningslinjer

### 4.1 'Burst mode' vs. 'spread mode' og andre måleinnstillinger

Hvilken som helst midlingsperiode kan i utgangspunktet brukes for å angi en strømhastighet, men kortere midlingsperioder gir større variasjoner enn en kontinuerlig 10-minutters middelverdi. Enkeltstående 1-min registrering over en 10 min periode vil inneholde både høyere og lavere verdier enn 10-min middelverdien. Strømmålinger over korte perioder vil nødvendigvis ha større varians og derfor være mindre presise.

Det er viktig at målte meteorologiske og oseanografiske variable er sammenlignbare. Det bør derfor i størst mulig grad tilstrebes en omforent måleteknikk. Bruken av 'burst mode' ble i utgangspunktet innført for å redusere strømtrekket og med det oppnå lengre måleperioder. Det har imidlertid skjedd en utvikling når det gjelder batterikapasitet de senere åra, noe som gjør at behovet for å korte inn midlingsperioden er vesentlig mindre. Vi anbefaler derfor at strømmens hastighet måles som et vektorielt middel over 10 minutter. Det er i henhold til dagens standard, og følger konvensjonen med basis i hvordan vindmålinger bør gjennomføres (10 min middelvind).

Moderne akustiske strømmålere er ikke bare profilerende med rekkevidde på flere hundre meter, de har også innstillinger som det er opp til brukeren å bestemme. Antall ping og vertikal cellestørrelse er to andre viktige parametere. Det er neppe ønskelig og trolig verken nødvendig eller mulig å sette opp retningslinjer for en anbefalt konfigurering, til det er bruksområdene og variasjonene for store. Men ønsket om en høyest mulig datakvalitet bør være styrende for de valg som skal tas.

## 4.2 Ekstremverdianalyse

Som nevnt i kapittel 3.3, er det flere mulige valg av fordeling og metoder ved ekstremverdianalyse. Valg av fordeling er gjerne en smakssak og den ene metoden er neppe overlegen en annen. Da er trolig dataenes uavhengighet, varigheten og det som kalles hendelses-basert analyse viktigere. Graden av hvor godt den målte fordelingen lar seg tilpasse en teoretisk fordeling, er et mål på hvor pålitelig beregningene er. Denne 'godheten' kan også beregnes ved hjelp av andre, enkle tester.

Et annet spørsmål er hvordan man håndterer den deterministiske tidevannsstrømmen. De fleste er enig i at den ikke skal inngå i en analyse av stokastiske data all den tid tidevannet er en harmonisk (periodisk) svingning med sine naturlige maksimumsverdier. Men man er ofte uenig i hvor stor betydning det har å likevel ta den med.

Ekstremverdianalyser foreslås som et viktig element i våre anbefalinger (jf. kapittel 5). Det er rimelig å anta at ekstremverdianalyser for NS 9415 - i framtida som i dag - vil bli utført av en rekke bedrifter og institusjoner. For å sikre sammenlignbare og entydige resultater, er det derfor rimelig at det utarbeides enkle retningslinjer som legger føringer for hvordan dette arbeidet skal gjennomføres. Det finnes høyst kompetente firmaer og personer i Norge som kan bistå i å utvikle slike retningslinjer.

## 5 Konklusjoner og anbefalinger

Basert på beregningene og vurderingene gjort ovenfor mener SINTEF Ocean at følgende konklusjoner kan trekkes:

**Månedsmaksima og omregningsfaktorer.** Metoden med månedsbaserte maksima og omregningsfaktorer for 10 og 50 års verdier er ikke statistisk holdbar. Når målt månedsmaksima er mer enn dobbelt så høy i en måned i forhold til en annen, vil også ekstremverdiene være mer enn dobbelt så høye fra den ene måneden til den andre. Målinger i en måned er altså ikke tilstrekkelig til å kunne fastsette pålitelige ekstremverdier ved hjelp av omregningsfaktorer. Måleperioden er ganske enkelt for kort, og metoden bør avvikles.

**Kort midlingstid – 'burst mode'.** Det er viktig at målte variable er sammenlignbare. Det bør derfor tilstrebes en felles måleteknikk. Målinger i 'burst mode' var i utgangspunktet begrunnet i behovet for å spare batteri og forlenge måleperioden. Dette behovet er i dag vesentlig redusert fordi batterikapasiteten er kraftig forbedra. Det anbefales at strømmens hastighet måles i henhold til dagens standard som et vektorielt middel over 10 min, og at praksisen med 'burst-mode' avvikles.

**Ekstremverdianalyse.** Resultatet av ekstremverdianalyse basert på langtidsmålinger viste at verdiene var innenfor 20 % av "fasit" etter tre måneder, innenfor 10 % etter ca. 9 måneder og innenfor 5 % etter vel et år. Selv om grunnlaget her bare er tre tidsserier, er resultatet oppløftende. Slik resultatene nå antyder, kan ekstremverdianalyse basert på f.eks. 9 måneder med data angi ekstremverdier innenfor  $\pm 10\%$  og etter ca. 1 år med en feilmargen på ca. 5 %. Flere tidsserier er tilgjengelig for denne type analyse, og det anbefales å få kjørt tilsvarende beregninger for flere av dem for å få validert relasjonen.

Det anbefales at det utarbeides enkle retningslinjer og standarder som sikrer et felles grunnlag for 'best praksis' i hvordan ekstremverdianalyser skal gjennomføres.